

Chemins d'intensification et durabilité des exploitations de polyculture-élevage en Afrique subsaharienne : contribution de l'association agriculture-élevage

Eric Vall^{1,*}, Laura Marre-Cast² et Hervé Joël Kamgang³

¹ UMR SELMET, CIRAD, Campus international de Baillarguet, 34098 Montpellier cedex 5, France

² EPSSED, Université Montpellier 2, France

³ Département d'agriculture, Faculté d'agronomie et des sciences agricoles (FASA), Université de Dshang, Cameroun

Résumé – Dans les zones de savanes d'Afrique subsaharienne, les systèmes de polyculture-élevage sont dominants et l'association entre l'agriculture et l'élevage ne cesse de progresser. Cette évolution contribue-t-elle à intensifier durablement la production agricole dans les exploitations ? Pour répondre à cette question, l'étude compare selon le niveau d'association de l'agriculture et de l'élevage : les caractéristiques, les trajectoires, les profils d'intensification et des indicateurs de durabilité d'exploitations familiales de polyculture-élevage de l'Ouest du Burkina Faso et du Nord-Cameroun, réparties en trois groupes (agriculteurs, agro-éleveurs et éleveurs). Le niveau d'association agriculture-élevage a été estimé par la quantité de carbone retenue annuellement sur l'exploitation sous forme de fumure organique, de résidus de cultures utilisés comme fourrages et d'aliments du bétail. Les exploitations présentant un niveau d'association de l'agriculture et de l'élevage élevé (fort taux de rétention de carbone) sont de plus grande dimension et présentent globalement de meilleurs indicateurs de durabilité. Des trajectoires d'exploitation et des chemins d'intensification ont été mis en évidence : ils ne sont pas spécifiques aux niveaux d'association agriculture-élevage, mais sont plutôt spécifiques aux trois groupes d'exploitations (agriculteurs, agro-éleveurs et éleveurs).

Mots clés : agriculture durable / sécurité alimentaire / Savanes / Cameroun / Burkina Faso

Abstract – **Intensification pathways and sustainability of crop-livestock systems in Sub-Saharan Africa: crop-livestock interaction contribution.** In sub-Saharan Africa savannas, mixed crop-livestock systems are dominant and crop-livestock association keeps on growing. Does it contribute to intensify agricultural production and farms sustainability? To answer this question, the study compares according to the level of association between agriculture and livestock: the characteristics, trajectories, intensifying profiles and sustainability indicators of farms in Western Burkina Faso and Northern Cameroon, divided into three groups (farmers, agro-pastoralists and breeders). The level of association between agriculture and livestock was estimated by the amount of carbon retained annually on the farm in the form of organic manure, crop residues used as fodder and livestock feed. Farms with a high level of association between agriculture and livestock (high carbon retention rates) are larger and have better overall indicators of sustainability. Farm trajectories and intensification pathways have been highlighted: they are not specific of the levels of association between agriculture and livestock, but they are specific of the three farm groups (farmers, agro-pastoralists and breeders).

Keywords: sustainable agriculture / food security / Savanna / Cameroon / Burkina Faso

1 Introduction

L'Afrique subsaharienne est confrontée au défi du développement durable de sa production agricole (Dorin, 2014), dans un contexte d'augmentation massive de la population (Courtin et Guengant, 2011), de libéralisation

des marchés (IFPRI, 2014) et de changement climatique (Dinar *et al.*, 2008). Aujourd'hui, les exploitations familiales de polyculture-élevage sont les plus nombreuses et sont considérées comme le principal levier de développement de l'agriculture de la région (Herrero *et al.*, 2010 ; Powell *et al.*, 2004). Dans ce contexte, la recherche est interpellée pour repérer, expliquer, évaluer et accompagner les dynamiques de développement en cours concernant ces systèmes agricoles (Powell *et al.*, 2004 ; Ryschawy *et al.*, 2014).

* Auteur de correspondance : eric.vall@cirad.fr

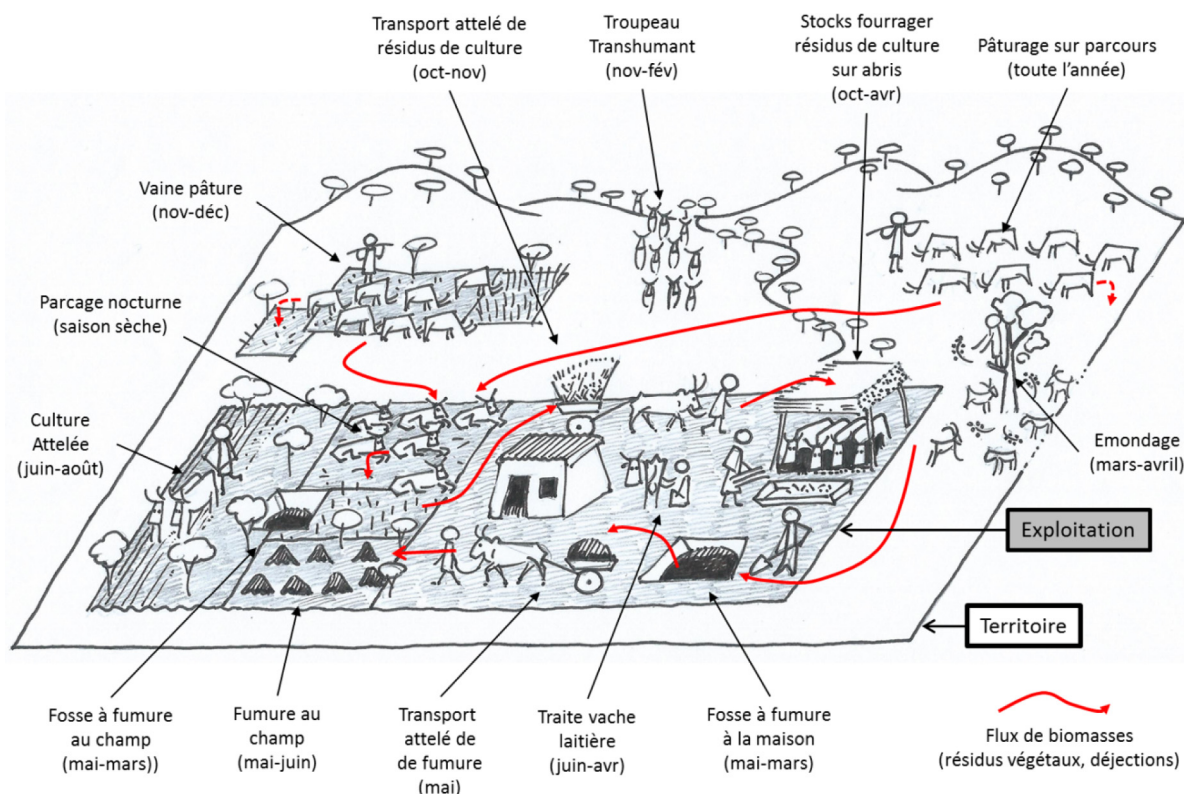


Fig. 1. Différents aspects de l'association de l'agriculture et de l'élevage dans les exploitations et territoires de savanes cotonnières d'Afrique subsaharienne.

Fig. 1. Various aspects of mix farming at farm and community level in the cotton savannahs of Sub-Saharan Africa.

Avant les années 1960, dans les zones de savanes, l'élevage était peu pratiqué par les agriculteurs et inversement l'agriculture occupait une part marginale dans les exploitations d'élevage. De plus, la production était extensive au regard des surfaces et des troupeaux (Milleville et Serpantié, 1994). Mais depuis, les choses ont bien changé. Les agriculteurs ont progressivement adopté l'élevage *via* la traction animale et les éleveurs se sont adonnés à l'agriculture de céréales pour nourrir leurs familles. La grande majorité des exploitations agricoles familiales des zones de savanes ont évolué vers différents types de systèmes de polyculture-élevage, où les deux activités occupent une place et jouent des rôles différents. Cette mutation a été accompagnée par la promotion de la recherche et du développement d'un modèle théorique d'association de l'agriculture et de l'élevage (AAE) basé sur une traction attelée lourde (culture attelée bovine appareillée de multiples outils: charrue, semoir, herse, sarcler, butteur...), une production intensive de fumure organique et l'introduction de cultures fourragères. La traction animale a été assez rapidement adoptée car elle permettait d'accroître les surfaces cultivées. Mais, pendant longtemps, la production de fumure organique et les cultures fourragères n'ont été que peu adoptées, car elles répondaient moins aux besoins des producteurs tant qu'il restait suffisamment d'espace disponible pour nourrir les animaux et pour pratiquer la jachère (Landais et Lhoste, 1990). Dans les années 1990, avec l'augmentation de la pression foncière, les producteurs ont progressivement vu l'intérêt d'utiliser des résidus agricoles comme fourrage pour nourrir les animaux et de la fumure

organique pour entretenir la fertilité des sols en limitant l'achat d'intrants (Jouve, 2006; Pretty *et al.*, 2011). Depuis une vingtaine d'années, on assiste à une accélération de la diffusion des pratiques d'AAE (Dugué *et al.*, 2004; Powell *et al.*, 2004), mais selon des modalités simplifiées par rapport au modèle promu à l'origine: recours à des formes de traction animale plus légères utilisant l'âne et le cheval, stockage de résidus agricoles fourragers plutôt que cultures fourragères, et production de fumures à moindre coût (Vall *et al.*, 2012). Aujourd'hui, l'AAE recouvre un large éventail de pratiques à l'échelle de l'exploitation et du territoire (Fig. 1).

Cette évolution conduit-elle à une intensification de la production agricole significative et à l'émergence de formes de production durables, pour répondre aux défis de sécurité alimentaire et de préservation des écosystèmes? Peu de travaux ont abordé cette question. Rudel *et al.* (2016), s'appuyant sur une méta-analyse mondiale et une grille d'analyse de la durabilité fondée sur la présence de quelques pratiques (travail du sol minimum, *mulching*, fertilisation organique et rotations), ont montré que dans les exploitations de polyculture-élevage des pays en voie de développement, notamment africains, ces pratiques étaient beaucoup plus fréquentes qu'ailleurs, ce qui selon ces auteurs leur conférerait davantage de durabilité. Mais en général, les études concernant les impacts des systèmes de polyculture-élevage en Afrique subsaharienne se limitent à l'énonciation des effets attendus de l'AAE en termes d'intensification et de durabilité (Powell *et al.*, 2004; Ryschawy *et al.*, 2014). La contribution réelle de l'AAE à l'intensification et à la durabilité de la production

Tableau 1. Composition de l'échantillon d'exploitations étudiées.**Table 1.** Composition of the sample of studied farms.

Groupes	Classes	Cheptel bovin (têtes)	Surface cultivée (ha)	Nombre d'exploitations Ouest-Burkina Faso		Nombre d'exploitations Nord-Cameroun		Total
				AAE–	AAE+	AAE–	AAE+	
Agriculteurs	A1		< 5 ha	2	3	6	5	16
	A2	< 10 têtes	5,1 < ha < 10	1	3	5	3	12
	A3		>10,1 ha	1	6	3	0	10
Agro-éleveurs	AE	> 10 têtes	> 7,5 ha	3	8	5	8	17
Éleveurs	E1	10 < têtes < 29		1	4	8	1	14
	E2	> 30 têtes	< 7,5 ha	2	6	6	1	15

agricole reste en partie hypothétique. Dans cet article, nous avons souhaité aborder cette question en nous restreignant au cas des exploitations de polyculture-élevage des zones de savanes cotonnières d'Afrique subsaharienne. Nous avons réalisé des enquêtes d'exploitations, afin d'étudier selon le niveau d'AAE, les caractéristiques et les évolutions des exploitations, les pratiques d'association des deux activités et les performances des exploitations dans les domaines économiques, environnementaux et sociaux, afin de tirer quelques conclusions sur la contribution de l'AAE à l'intensification de la production et à la durabilité des exploitations.

2 Matériel et méthode

2.1 Zones d'étude, échantillonnage des exploitations, collecte des données, qualification des niveaux d'association entre agriculture et élevage

L'étude a été réalisée sur deux terrains où la polyculture-élevage est le système agricole le plus répandu : l'ouest du Burkina Faso (zone de Bobo-Dioulasso) et le nord du Cameroun (zone de Garoua). Le contexte agro-écologique de ces deux terrains est comparable à bien des égards : situés en zone cotonnière, soumis au même régime pluviométrique (800 à 1200 mm/an), caractérisés par des densités de population élevées (40 à 60 hab./km²) et en augmentation, et des systèmes agricoles partageant les mêmes fondamentaux (coton, céréales, élevage bovin). Sur ces deux terrains, des études récentes ont montré qu'à mesure de l'augmentation de la pression foncière, les stratégies de production extensives devenaient problématiques. Les producteurs se tournent alors vers des stratégies plus intensives, et notamment vers l'AAE pour entretenir la fertilité des sols (production de fumure), pour nourrir leurs animaux (stockage de fourrage) et pour disposer d'énergie agricole à moindre coût financier dans un contexte économique difficile (Dongmo *et al.*, 2012 ; Vall *et al.*, 2006).

Pour échantillonner les exploitations dans leur diversité, nous nous sommes basés sur des typologies structurelles existantes (Dongmo *et al.*, 2012 ; Vall *et al.*, 2006), communément usitées dans les zones de l'étude et distinguant trois groupes d'exploitations : celles principalement orientées vers l'agriculture (dénommées les « agriculteurs »), celles principalement orientées vers l'élevage (les « éleveurs ») et celles qui combinent agriculture et élevage (les « agro-

éleveurs »). Au sein de ces trois groupes, nous avons distingué six classes d'exploitation en fonction de la surface cultivée et du nombre de bovins (Tab. 1) :

- agriculteurs (A1) cultivant moins de 5 ha et possédant moins de dix bovins ;
- agriculteurs (A2) cultivant 5 à 10 ha et possédant moins de dix bovins ;
- agriculteurs (A3) cultivant plus de 10 ha et possédant moins de dix bovins ;
- éleveurs (E1) possédant 10 à 29 bovins et cultivant moins de 7,5 ha ;
- éleveurs (E2) possédant plus de 30 bovins et cultivant moins de 7,5 ha ;
- agro-éleveurs (AE) cultivant plus de 7,5 ha et possédant plus de dix bovins.

Afin de réduire les biais de localité intra-pays, sur les deux terrains, les enquêtes ont été menées dans les exploitations de quatre villages, à raison d'environ dix exploitations par village, soit 84 exploitations au total, en faisant en sorte que chaque classe soit représentée par un nombre d'individus proche.

L'enquête a été adressée au chef d'exploitation et a permis de collecter des données sur l'exploitation (sa structure, les modes de conduite des cultures et des troupeaux, les productions végétales et les productions animales) à deux dates : l'année de l'installation dans le village comme producteur agricole (situation de référence) et à la date de l'enquête (situation actuelle : 2013 au Burkina Faso, 2014 au Nord-Cameroun).

Il existe plusieurs classifications des systèmes agricoles (Bell *et Moore*, 2012 ; Hendrickson *et al.*, 2008 ; Séré *et al.*, 1996), mais – nous y reviendrons en discussion – aucune ne propose de critères suffisamment spécifiques pour distinguer précisément des niveaux d'AAE différents. Dans notre étude, le niveau d'AAE a été évalué par la quantité de carbone (C) retenue annuellement sur l'exploitation sous forme de fumure organique et de stocks de résidus de cultures à destination fourragère (pailles de céréales, fanes de légumineuses) et d'aliment du bétail (tourteau de coton, son de céréales). La pertinence de ce choix sera discutée après la présentation des résultats. La quantité de C retenue annuellement sur l'exploitation a été calculée en appliquant les taux de conversion suivants aux quantités de fourrages, d'aliments et de fumures relevées dans les enquêtes en exploitation : 45 % de C/kg de matière sèche (MS) pour les fourrages et aliments (mesures locales variant entre 44 et 47 %),

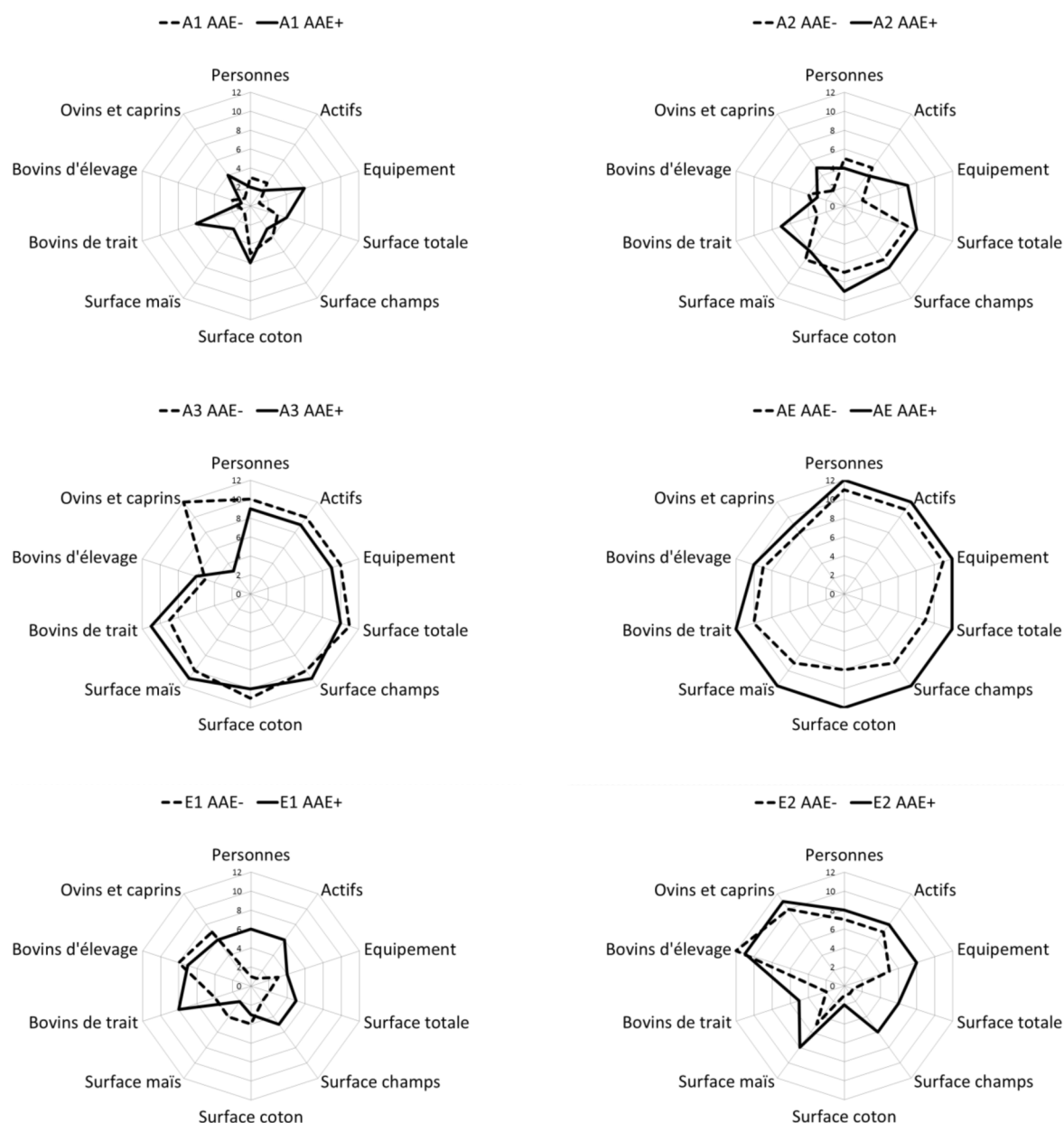


Fig. 2. Structure des classes d'exploitation selon le niveau d'association de l'agriculture et de l'élevage. Classes d'exploitation A1, A2, A3, AE, E1 et E2 (cf. Tab. 1) ; niveau d'association de l'agriculture et de l'élevage : AAE+ (fort), AAE- (faible) ; pour chaque variable, les valeurs des 12 classes ont été converties en note de 1 à 12 (1 pour la sous-classe présentant la valeur la plus faible et 12 pour la sous-classe présentant la plus forte).

Fig. 2. Structure of farm classes by level of mixed farming.

20 % de C/kg de MS de fumure (mesures locales variant entre 3 et 28 % ; en l'absence d'information sur la qualité, le taux moyen retenu correspond à l'estimation la plus communément rencontrée [Blanchard *et al.*, 2013, 2014]). Chaque classe d'exploitation a été partagée en deux, de part et d'autre de la moyenne du C retenue annuellement sur l'exploitation par la classe considérée. Celles avec une quantité de C retenue supérieure à la moyenne sont considérées comme AAE+, les autres comme AAE-, forte et faible association, ce qui au final nous a conduit à analyser un ensemble d'exploitations réparti en 12 modalités (6 classes d'exploitation \times 2 niveaux d'AAE) dont les effectifs sont présentés dans le Tableau 1.

2.2 Caractérisation des structures et trajectoires des exploitations selon le niveau d'association entre agriculture et élevage

Tout d'abord, les caractéristiques structurelles actuelles des exploitations ont été représentées sur des radars (Fig. 2). Chaque radar correspond à l'une des six classes d'exploitation (A1, A2, A3, AE, E1 et E2) selon les deux modalités d'AAE (AAE- et AAE+). Chaque classe d'exploitation a été caractérisée par dix variables de structure (nombre de personnes à charge, actifs, valeur de l'équipement, surface totale cultivée et des champs, surface de coton et de maïs,

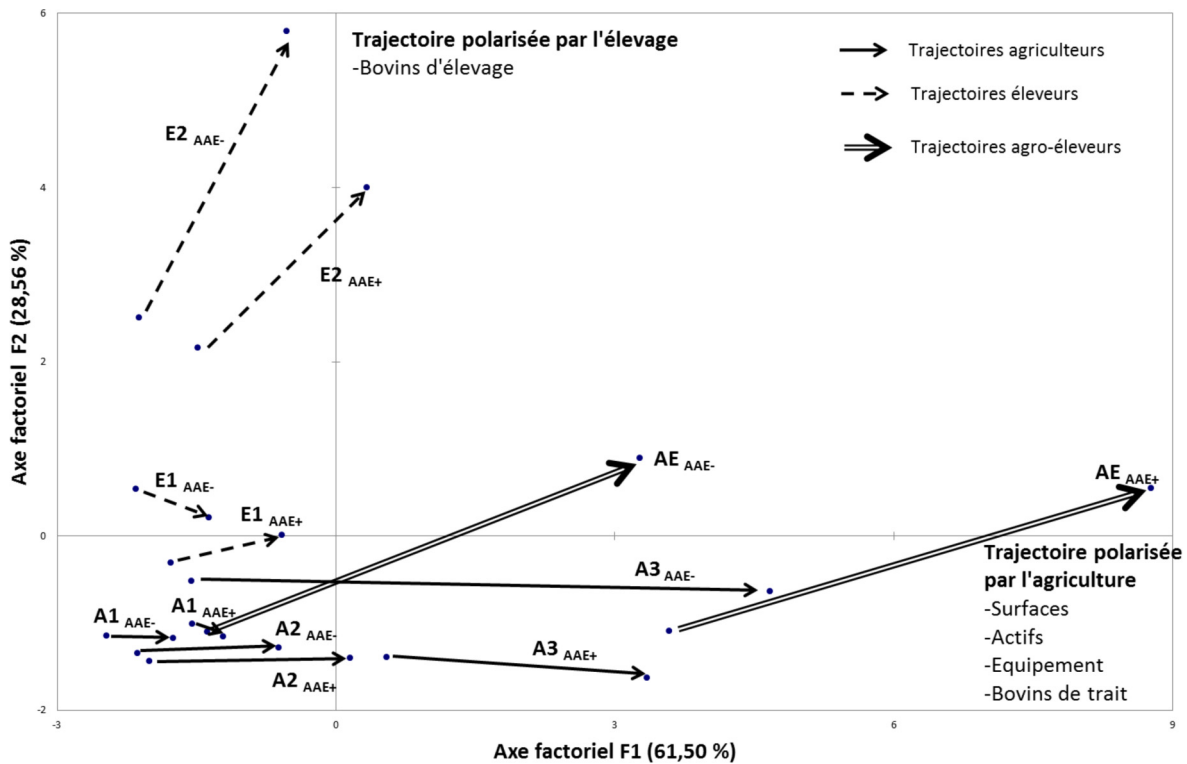


Fig. 3. Trajectoires des classes d'exploitations selon le niveau d'association de l'agriculture et de l'élevage. Classes d'exploitation : A1, A2, A3, AE, E1 et E2 (cf. Tab. 1) ; niveau d'association de l'agriculture et de l'élevage : AAE+ (fort), AAE- (faible).

Fig. 3. Trajectories of farm classes by level of mixed farming.

bovins de trait et d'élevage, ovins et caprins). Pour chaque variable, les valeurs des six classes d'exploitation réparties en deux modalités ont été converties en note de 1 à 12 pour que les rayons du radar soient de même longueur (1 pour la modalité présentant la valeur la plus faible et 12 pour la modalité présentant la plus forte).

Ensuite, des trajectoires simplifiées des exploitations ont été construites en deux temps. Au préalable, pour chacune des six classes d'exploitation réparties en deux modalités (6 classes [A1, A2, A3, AE, E1 et E2] × 2 niveaux d'AAE [AAE- et AAE+]) et pour les deux situations étudiées (situation actuelle et situation de référence), nous avons calculé les moyennes sur les 12 variables suivantes (actifs, personnes à charge, superficie des champs, valeur du matériel, surface cultivée [totale, coton et maïs], cheptel [total, bovins, bovins de trait, bovins d'élevage et petits ruminants]). Cette première étape a donné un tableau de 24 lignes (12 modalités × 2 situations) et de 12 colonnes (1/variable). Ensuite, une analyse en composante principale (ACP) a été réalisée sur ce tableau de données et les coordonnées des 24 individus ont été projetées sur le premier plan factoriel de l'ACP. Pour chaque classe d'exploitation, la situation de référence et la situation actuelle ont été reliées par un vecteur représentant sa trajectoire simplifiée, ce qui a permis de dresser le tableau des trajectoires des classes d'exploitation (A1, A2, A3, AE, E1, E2) selon la modalité d'AAE (AAE- et AAE+) (Fig. 3). Pour chaque classe d'exploitation, nous avons analysé les trajectoires en fonction des modalités AAE- et AAE+, en nous basant sur deux

critères, la colinéarité et la longueur des vecteurs : trajectoires comparables si vecteurs colinéaires et de même longueur et différentes dans le cas contraire.

2.3 Caractérisation des profils d'intensification des exploitations et évaluation de leur durabilité selon le niveau d'association entre agriculture et élevage

L'intensification de la production agricole se définit comme un investissement en intrants, en capital, en travail par unité de surface, ou par animal, permettant d'atteindre une amélioration de la production (Tirel, 1987). Les fumures organiques, les fourrages et les animaux de trait, classiquement considérés comme les piliers de l'AAE, sont des intrants et un capital mobilisables pour intensifier la production des cultures et du cheptel, moyennant un investissement en travail (garde, collecte, transport, manutention...). Pour analyser les profils d'intensification de la production agricole dans les exploitations, nous nous sommes basés sur trois activités majeures et communes aux deux zones (la culture du coton, la culture du maïs et l'élevage des ruminants) et sur les pratiques suivantes (Fig. 4) :

- pour le coton et pour le maïs : dose de fumure organique appliquée (kg/ha), dose d'engrais minéraux appliquée (kg/ha) ;
- pour l'élevage : stocks de fourrage et stocks d'aliment concentré (en unité fourragère/unité de bétail tropical [UF/UBT], teneurs en UF relevées dans Rivière [1991] ; 1 UBT = 1 bovin adulte de 250 kg).

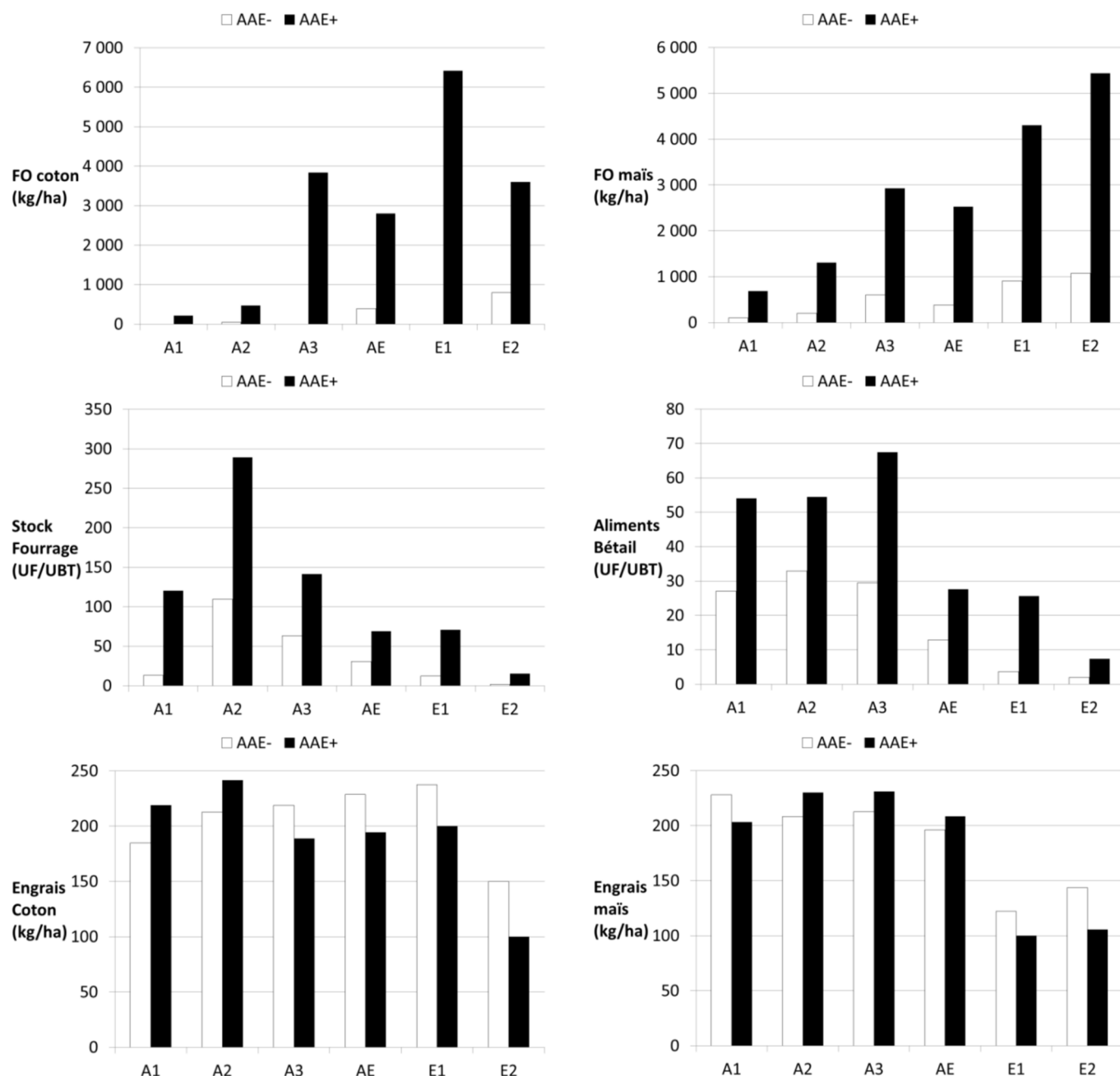


Fig. 4. Pratiques de fertilisation organique et minérale, et de stockage des fourrages et des aliments du bétail selon les classes d'exploitation et selon le niveau d'association agriculture-élevage. Classes d'exploitation : A1, A2, A3, AE, E1 et E2 (cf. Tab. 1) ; niveau d'association de l'agriculture et de l'élevage : AAE+ (forte), AAE- (faible) ; FO : fumure organique ; UF : unité fourragère ; UBT : unité de bétail tropical (1 UBT = 1 bovin de 250 kg).

Fig. 4. Practices of organic and mineral fertilization, and storage of fodder and cattle feed in the farm classes by level of mixed farming.

Une exploitation durable devant être économiquement viable, socialement vivable et écologiquement reproductible (Landais, 1998), nous nous sommes basés sur des indicateurs couvrant ces dimensions pour évaluer la durabilité selon le niveau d'AAE :

- pour la dimension technico-économique : le rendement en coton graine et maïs grain (en kg/ha), la productivité du travail pour le coton et le maïs (kg/h de travail), et la marge partielle après remboursement des intrants

(hors herbicides et insecticides car données non collectées) : MpARI (en F/ha) = produit/ha – charge engrais minéraux/ha – charges de main-d'œuvre/ha – amortissement du matériel) pour le coton et pour le maïs ;

- la production de céréale par personne (en kg/an/capita) pour évaluer le niveau de sécurité alimentaire sur l'exploitation (le seuil étant fixé à 200 kg/an/capita par la FAO ; voir FAOSTAT – Agriculture Database) ;

Tableau 2. Structure des classes d'exploitations selon le niveau d'association agriculture élevage.**Table 2.** Farm structure by level of mixed farming.

Groupes Classes d'exploitation	Agriculteurs						Agro-éleveurs		Éleveurs			
	A1	A2	A3	AE	E1	E2	AE	E1	E2	AE	E1	E2
Niveau d'association agriculture-élevage : AAE– (faible) ; AAE+ (fort)												
	AAE–	AAE+	AAE–	AAE+	AAE–	AAE+	AAE–	AAE+	AAE–	AAE+	AAE–	AAE+
C retenu/AAE (kg)	60	523	362	1946	1720	10 325	1280	14 967	417	2189	437	3240
MS fourragère en provenance de résidus de culture (%)	31	44	42	65	37	50	32	37	29	37	27	29
Proportion des produits agricoles dans les produits de l'exploitation (%)	72	82	81	86	82	85	68	81	57	33	9	20
<i>Structure d'exploitation</i>												
Actifs (n)	3	4	5	5	12	7	9	13	4	5	4	5
Équipement (kF)	61	394	186	432	1413	924	1684	5159	218	252	353	474
Surface cultivée (ha)	3	3	6	8	17	15	12	23	3	3	2	4
Bovins (n)	1	2	2	3	6	7	31	38	17	15	89	64

Classes d'exploitation : A1, A2, A3, AE, E1 et E2 (cf. Tab. 1) ; AAE : association agriculture-élevage ; C : carbone ; MS : matière sèche ; 1 € = 655,957 F.

– pour la dimension environnementale : la quantité de C retenue sur l'exploitation sous forme de fumure et de résidus de culture fourragers rapportée à la main-d'œuvre (en kg/actif) et au cheptel (en kg/UBT) ; et la surface théorique nécessaire à l'alimentation du cheptel de l'exploitation (à raison de 2 ha/UBT) rapportée à sa surface (ce ratio traduisant une certaine empreinte écologique de l'élevage sur le territoire lorsque le ratio est > 1).

3 Résultat 1. Structures, trajectoires des exploitations et association agriculture-élevage

Sur l'ensemble de l'échantillon, les exploitations qui font un effort d'AAE (AAE+) ont généralement des structures de plus grande dimension (Fig. 2 et Tab. 2). Le surcroît de dimension dans les exploitations AAE+ est remarquable, chez les agriculteurs cultivant une petite surface (A1) sur l'équipement et le cheptel de trait ; chez les agriculteurs cultivant une surface moyenne (A2) sur l'équipement, le cheptel de trait et les surfaces ; chez les agro-éleveurs (AE) sur toutes les variables de structure ; et chez les éleveurs (E1 et E2) sur les actifs, les équipements, les surfaces et les bovins de trait. Chez les agriculteurs cultivant une grande surface (A3), et contrairement à toutes les autres classes, les exploitations qui intègrent peu l'agriculture et l'élevage (AAE–) sont plus grandes (en particulier pour le cheptel de petits ruminants).

La comparaison des deux terrains montre que l'AAE est nettement plus développée dans l'ouest du Burkina Faso comparativement au nord du Cameroun, avec 75 % d'exploitations AAE+ (principalement chez les agro-éleveurs

[AE] et chez les agriculteurs cultivant une grande surface [A3]), contre 25 % au nord du Cameroun (principalement chez les agriculteurs cultivant une petite surface [A1]) (Tab. 1).

Concernant les trajectoires d'exploitation (Fig. 3), on n'observe pas de différence entre les modalités AAE– et AAE+ dans les classes A1, A2, AE et E2. Dans ces classes, les trajectoires des exploitations AAE– et AAE+ sont comparables (vecteurs AAE– et vecteurs AAE+ d'une même classe d'exploitation approximativement parallèles et de mêmes longueurs). Dans la classe A3 (agriculteurs cultivant une grande surface), les vecteurs sont colinéaires, mais plus longs dans les exploitations AAE–, ce qui traduit une augmentation de dimension plus importante chez les A3 AAE–. Dans la classe E1 (éleveurs d'un petit troupeau), les vecteurs sont de même longueur mais ne sont pas colinéaires (on observe une réduction du cheptel chez les AAE–).

Les trajectoires d'exploitation sont plus faciles à caractériser si l'on se réfère aux groupes d'exploitation :

- dans le groupe agriculteurs et pour les trois classes (A1, A2, A3), les vecteurs sont colinéaires à l'axe 1, ce qui traduit une trajectoire dominée par un accroissement de la surface cultivée, qui augmente plus les exploitations sont grandes (vecteurs A1 < vecteurs A2 < vecteurs A3) ;
- dans le groupe agro-éleveurs (AE), les vecteurs sont longs et obliques, ce qui traduit une augmentation importante et conjointe de la surface et du cheptel ;
- dans le groupe éleveurs, chez ceux qui élèvent un grand troupeau (E2), l'évolution est plus nettement polarisée par l'augmentation du troupeau que par l'augmentation de surface (forte pente des vecteurs). Chez les éleveurs de

Tableau 3. Performances des exploitations selon le niveau d'association agriculture-élevage.**Table 3.** Performance of farms by level of mixed farming.

Groupes Classes d'exploitation Niveau d'association agriculture-élevage	Agriculteurs						Agro-éleveurs		Éleveurs			
	A1		A2		A3		AE		E1		E2	
	AAE–	AAE+	AAE–	AAE+	AAE–	AAE+	AAE–	AAE+	AAE–	AAE+	AAE–	AAE+
Production céréales/ personne (kg/capita)	163	275	385	496	406	908	531	877	277	232	292	477
Rendement coton (kg/ha)	893	1008	1186	1119	1199	1310	1261	1150	792	1100	1040	500
Rendement maïs (kg/ha)	1048	2038	1830	2627	1735	1945	1972	2808	1777	2475	2242	1962
MpARI coton (F/ha)	123	133	173	150	173	204	182	171	85	158	162	68
MpARI maïs (F/ha)	78	222	193	298	178	202	216	330	211	314	270	242
Productivité coton (kg/h)	20	21	40	91	175	199	94	303	16	14	6	9
Productivité maïs (kg/h)	16	46	47	40	26	159	51	207	38	13	45	42
Taux mise bas bovins (%)							22	29	19	41	19	35
Taux mise bas PTR (%)	33	32	21	88	25	102	40	70	33	60	33	56
Carbone retenu/AAE (kg/actif)	15	153	67	656	138	1493	175	1550	160	453	147	610
Carbone retenu/AAE (kg/UBT)	9	428	131	595	149	1387	48	355	22	122	7	50
Surface théorique nécessaire pour nourrir le cheptel / SF de l'exploitation	1	3	1	1	2	1	6	5	28	13	118	71

Classes d'exploitation : A1, A2, A3, AE, E1 et E2 (cf. Tab. 1) ; niveau d'association agriculture-élevage : AAE+ (fort), AAE– (faible) ; MpARI : marge partielle (hors herbicides et insecticides) après remboursement des intrants ; PTR : petit ruminants ; UF : unité fourragère ; UBT : unité de bétail tropical (1 UBT = 1 bovin de 250 kg) ; SF : surface ; 1 € = 655,957 F.

petits troupeaux (E1), on observe une stagnation du cheptel, voire même une légère diminution chez ceux qui associent peu agriculture et élevage (AAE–) et une légère augmentation de la surface.

Globalement, on peut aussi remarquer que dans l'ensemble, les inégalités de départ semblent avoir été creusées entre les classes modestes (vecteurs courts chez les agriculteurs cultivant une surface petite à moyenne [A1 et A2] et chez les éleveurs d'un petit troupeau [E1]) et les classes plus aisées (vecteurs longs chez les agriculteurs cultivant une grande surface [A3], chez les éleveurs d'un grand troupeau [E2] et chez les agro-éleveurs [AE]). Chez les agriculteurs cultivant une petite surface (A1), comme pour les éleveurs d'un petit troupeau (E1), la précarité de leur situation explique les faibles évolutions observées.

4. Résultat 2. Profils d'intensification de la production et durabilité des exploitations selon le niveau d'association entre agriculture et élevage

La Figure 4 montre que dans les exploitations AAE+, quelle que soit la classe d'exploitation, l'effort d'association de l'agriculture est important sur tous les indicateurs (fumure appliquée sur coton, fumure appliquée sur maïs, stockage de

résidus de culture et recours aux aliments du bétail), ce qui semble montrer que l'on est en présence d'une stratégie globale d'AAE dans ce type d'exploitation, que l'indicateur proposé (C retenu annuellement sur l'exploitation par les pratiques d'AAE) a bien permis de capter.

Chez les agriculteurs (A1, A2, A3) AAE+ et chez les agro-éleveurs (AE) AAE+, la dose de fumure organique à l'hectare augmente à mesure que le cheptel s'accroît, mais fléchit chez les agro-éleveurs (AE) en raison d'un ratio surface/cheptel très élevé. Chez les éleveurs (E1 et E2) AAE+, le ratio cheptel/ha très élevé et la production de fumure dans les parcs de nuit expliquent les fortes doses de fumure à l'hectare. Si l'on considère les six classes d'exploitations (A1, A2, A3, AE, E1 et E2), les stocks de fourrage et d'aliments par tête de bétail diminuent à mesure que le cheptel augmente, car le stockage demande beaucoup de travail de collecte et de transport, si bien que cette pratique concerne au premier chef les agriculteurs détenteurs de petit cheptel (A1, A2 et A3). Les doses d'engrais minéraux sont plus faibles chez les éleveurs qui utilisent massivement la fumure organique.

Les exploitations qui associent fortement l'agriculture et l'élevage (AAE+) présentent en général un meilleur niveau de performances (Tab. 3) vis-à-vis des exploitations AAE– :

- sur le plan social, en termes de confort alimentaire du ménage, la production de céréales *per capita* est nettement plus élevée dans les exploitations qui associent l'agriculture et l'élevage (+68 % chez les AAE+ par rapport aux

- AAE-). Parmi les exploitations AAE+, tous les types sont très au-dessus du seuil de 200 kg/an/capita, sauf chez les éleveurs de petits troupeaux (E1 ; 232 kg/an/capita). Parmi les exploitations AAE-, la moyenne est également au-dessus du seuil sauf pour les exploitations agricoles cultivant une petite surface (A1) ;
- sur le plan technique, le rendement en maïs est plus élevé dans les exploitations AAE+ (+36 % par rapport aux exploitations comparables AAE-), à l'exception des classes E2 (éleveurs d'un grand troupeau) et dans une certaine mesure A3 (agriculteurs cultivant une grande surface). Pour le coton, il ne se dégage pas de lien net entre l'AAE et le rendement. Du côté de l'élevage, le taux de mise bas est plus élevé dans les exploitations AAE+ : +78 % pour les bovins et +121 % pour les petits ruminants ;
 - sur le plan économique, la productivité du travail est généralement plus élevée dans les exploitations AAE+ (+93 % pour le coton, et +248 % pour le maïs). Cela s'observe en particulier chez les agro-éleveurs (AE) et chez les agriculteurs cultivant une grande surface (A3). Mais chez les éleveurs, la différence n'est pas importante. La marge (MpARI) réalisée sur le maïs est plus forte dans les exploitations AAE+ (+57 %) à l'exception de la classe E2 (éleveurs d'un grand troupeau). Pour le coton, il ne se dégage pas de tendance liée à l'AAE sur la MpARI ;
 - enfin, sur le plan environnemental : (i) les exploitations AAE+ sont définies comme celles retenant annuellement plus de C sur l'exploitation grâce à l'AAE. Quand on rapporte cette rétention au nombre d'actifs ou bien au cheptel (nombre d'UBT), les exploitations AAE+ restent largement devant (+566 % rapportée au nombre d'actifs et +1205 % rapportée au nombre d'UBT comparativement aux AAE-) ce qui montre leur grande efficacité dans ce domaine par rapport aux AAE- ; (ii) dans les exploitations AAE+, la surface théorique nécessaire pour nourrir le cheptel est inférieure, grâce au recours aux aliments du bétail (ou concentrés) et à une meilleure utilisation des fourrages (à l'exception des agriculteurs cultivant une petite surface [A1] qui manquent de moyens pour l'achat d'aliments).

sur une échelle de 5 de la classification de [Hendrickson *et al.* \(2008\)](#). Cela aurait permis de vérifier que l'on était bien dans une situation de forte AAE, mais n'aurait pas permis de discerner des différences entre les classes d'exploitation.

L'utilisation du système de classification de [Séré *et al.* \(1996\)](#), basé sur des critères quantitatifs, aurait permis d'avancer davantage dans la discrimination des cas. Pour ces auteurs, une exploitation relève de la polyculture-élevage et pratique l'AAE si plus de 10 % de la valeur de sa production provient d'activités autres que l'élevage, et si plus de 10 % de la matière sèche alimentant les animaux provient de résidus agricoles autoproduits. Chez les agriculteurs et les agro-éleveurs, la part des produits agricoles se situe entre 60 et 80 % ([Tab. 2](#)), ce qui correspond à des systèmes orientés agriculture. Chez les éleveurs, à l'exception des E2 AAE- (que l'on peut considérer spécialisés en élevage avec une part des produits agricoles < 10 %), la part des produits agricoles se situe entre 20 et 60 % ; on a donc affaire à des systèmes orientés élevage. Quels que soient la classe et le niveau d'AAE, plus de 30 % des matières sèches consommées par le bétail proviennent de résidus de culture (avec une proportion plus grande pour les exploitations AAE+), ce qui traduit une forte intégration des deux activités. Le recours à la classification de [Séré *et al.* \(1996\)](#) n'aurait pas permis des orientations particulières de telle ou telle classe en termes d'AAE. Notons qu'elle pourrait être améliorée en ajoutant un seuil de 10 % pour la part des revenus de l'élevage, afin de repérer les exploitations spécialisées en élevage et en prenant en compte les fumures organiques dans le second critère.

La quantité de C retenue annuellement sur l'exploitation via l'AAE a bien permis de distinguer les niveaux d'association intra-classes, mais reste un indicateur assez frustré. Pour aller plus loin dans la mesure du recyclage, de l'autonomie et de l'efficacité énergétique selon le niveau d'association, l'approche *Ecological network analysis* ([Rufino *et al.*, 2009](#)), basée sur la mesure des flux de biomasses en circulation dans l'exploitation, propose une série d'indicateurs spécifiques. Ils nécessitent néanmoins beaucoup de données pour être renseignés, ce qui n'est pas le cas avec l'indicateur proposé dans cet article.

5 Discussion

5.1 Pertinence d'un indicateur quantitatif pour évaluer le degré d'association agriculture-élevage

La quantité de C retenue annuellement sur l'exploitation via la production de fumure organique, le stockage de fourrage et le recours aux aliments, est un indicateur relativement pertinent pour discriminer le niveau d'AAE entre exploitations.

Si, pour discriminer les exploitations, on avait utilisé les systèmes de classification basés sur une approche globale et qualitative du système agricole ([Bell et Moore, 2012](#) ; [Hendrickson *et al.*, 2008](#)), alors toutes les exploitations de l'étude auraient été classées dans la catégorie « production diversifiée avec des ateliers spatialement associés de façon synchrone (sur une même campagne de production) », niveau le plus élevé de la classification de [Bell et Moore \(2012\)](#), ou alors dans la catégorie « systèmes agricoles intégrés avec interactions agriculture-élevage dans l'espace », correspondant au niveau 4

5.2 Place de l'association agriculture-élevage dans les chemins d'intensification

Par rapport aux années 1990 ([Landais et Lhoste 1990](#)), où l'AAE était décrite comme une pratique finalement assez peu mise en œuvre dans les exploitations d'Afrique subsaharienne, les résultats de l'étude comme ceux de [Powell *et al.* \(2004\)](#) montrent qu'aujourd'hui elle permet de produire des effets d'intensification dans un contexte foncier de plus en plus tendu, dans tous les grands groupes d'exploitation (agriculteurs, agro-éleveurs et éleveurs). Les résultats de l'étude montrent que trois chemins d'intensification liés à l'AAE peuvent être caractérisés dans ces systèmes de polyculture-élevage :

- chez les agriculteurs modestes cultivant de petites surfaces (A1) ou des surfaces moyennes (A2), l'AAE permet une intensification à moindre coût financier et un soutien alimentaire à l'élevage ;
- chez les agriculteurs cultivant de grandes surfaces (A3) et chez les agro-éleveurs (AE), l'AAE est surtout développée

pour la production de fumure organique en complément d'un recours important à la fumure minérale ;

- chez les éleveurs (E1 et E2), l'AAE se présente davantage comme une stratégie d'intensification passive fondée sur le parage des troupeaux et le pâturage des résidus au champ.

Néanmoins, l'étude montre aussi de fortes disparités de développement de l'AAE sur les deux terrains. Selon notre interprétation, les causes principales de cette disparité sont les suivantes. Premièrement, la politique de développement du transport attelé a été plus efficace au Burkina Faso. Dans ce pays, le développement rural a facilité l'adoption du transport attelé en soutenant la production de charrettes et de tombereaux artisanaux, économiques et faciles à entretenir (CTA, 1998). Au Nord-Cameroun, on a soutenu une production industrielle de charrettes robustes, mais coûteuses, que les producteurs n'ont presque pas adoptées (Vall *et al.*, 2003). Aujourd'hui, au Burkina Faso, charrettes et tombereaux attelés sont très répandus, ce qui facilite grandement le transport de fourrages et de fumures. Deuxièmement, dans l'ouest du Burkina Faso, les exploitations agricoles comptent plus d'actifs que dans le nord du Cameroun, ce qui facilite l'adoption de pratiques exigeantes en travail manuel telles que la production de fumure et la collecte et le stockage des résidus de culture (Havard and Abakar, 2002 ; Vall *et al.*, 2006).

5.3 Contribution de l'association agriculture-élevage à la durabilité des exploitations

Sur le plan économique, dans un contexte d'accès limité aux intrants, aux crédits et aux capitaux, et pour des exploitations disposant d'un revenu modeste, l'AAE renforce l'autonomie des exploitations en intrants et en énergie (Ryschawy *et al.*, 2014). Lorsqu'un débouché local apparaît, pour la vente de lait ou de bovins engraisés, l'AAE permet de soutenir la production en minimisant les coûts d'alimentation des animaux (Delma *et al.*, 2016 ; Koutou *et al.*, 2016). Mais l'AAE suppose un investissement en élevage et en équipement (charrette, fosse, hangar) et donc des moyens parfois difficiles à mobiliser pour les plus pauvres (agriculteurs cultivant une petite surface [A1] et éleveurs élevant un petit troupeau [E1]). Face à de telles difficultés, de nombreux agriculteurs d'Afrique de l'Ouest louent des attelages, achètent de la fumure organique, paient des soins vétérinaires chez les éleveurs, et inversement de nombreux éleveurs paient des droits de pâturage ou bien achètent des fourrages chez les agriculteurs (Dugué *et al.*, 2004 ; Vall *et al.*, 2006). Cette forme d'AAE fondée sur des échanges marchands de biomasse (fumures, fourrages) entre exploitations se redéveloppe en Europe (Moraine *et al.*, 2014) et constitue aujourd'hui une forme de reconnexion entre agriculture et élevage économiquement et écologiquement intéressante dans des régions où elle avait été abandonnée au profit de la spécialisation.

Sur le plan de la sécurité alimentaire, Douchamps *et al.* (2015) ont montré qu'elle était mieux garantie dans les exploitations de polyculture-élevage par rapport à celles qui tendent à se spécialiser. Selon nos résultats, le confort alimentaire est meilleur (disponibilité alimentaire plus élevée)

dans les exploitations où l'AAE est bien développée (AEE+). Mais sur des aspects sociaux comme le travail ou les relations intercommunautaires, les impacts de l'AAE sont ambivalents. Certaines pratiques d'AAE augmentent sensiblement la charge de travail totale sur l'exploitation (tâches de transport, de garde, de stockage), ce qui constitue un réel frein à leur adoption. Ce type de frein a longtemps permis d'expliquer la faible diffusion des pratiques de production de fumure et de stockage de fourrages. Mais aujourd'hui, la donne change avec l'augmentation du prix des engrais et la réduction des zones de pâturage. Le coût d'opportunité des pratiques habituelles baisse (achat d'engrais, pâtures), incitant un nombre croissant de producteurs à produire leur fumure et leur fourrage. Pour la culture attelée, l'adoption fût rapide, car elle permettait d'augmenter la surface cultivée tout en réduisant la pénibilité des opérations culturales, et de faciliter le transport (Vall *et al.*, 2003). Concernant les relations intercommunautaires, l'extension de l'AAE s'accompagne d'un développement des échanges marchands entre exploitations (fumure, attelage, résidus fourragers ; Powell *et al.*, 2004), en même temps qu'elle exacerbe les compétitions et les conflits entre utilisateurs de ressources, ce qui à terme pourrait constituer un frein à l'essor de ces exploitations, si les règles d'accès aux espaces et ressources ne sont pas adaptées.

Sur le plan environnemental, l'AAE contribue positivement à l'entretien de la vie du sol et au stockage du C dans le sol *via* la fumure organique, et donc à sa fertilité (Blanchard *et al.*, 2014). Mais, en raison de contraintes multiples s'exerçant à plusieurs échelles, cette contribution reste faible. À l'échelle du territoire, une partie importante de la biomasse végétale spontanée et cultivée est perdue dans les feux de brousse et lors du passage de troupeaux transhumants. La part restante, entrant dans un processus de production de fumure à l'échelle de l'exploitation, se divise en deux fractions. Il s'agit soit de déjections déposées dans les parcs de nuit ou directement au champ, soit de fumiers et composts produits à partir des litières récupérées sous les animaux affouragés à l'étable (Fig. 1). Mais au cours des processus de production de fumure, une part importante de la biomasse est perdue sous forme d'émissions de gaz (N_2O), négatives au plan environnemental (Steinfeld *et al.*, 2006) et qu'il serait possible de limiter en adaptant les pratiques de production (couverture des fosses). Les fumures sont souvent de faible qualité, car elles sont produites avec trop de biomasses végétales et pas assez de déjections animales, donc avec mélange initial dont le rapport C/N est trop faible ($< 20\%$) pour espérer obtenir une fumure de bonne qualité, à quoi s'ajoutent les pertes des fractions les plus volatiles quand la production n'est pas confinée dans une fosse. De plus, elles sont souvent produites en faible quantité lorsque les moyens de transport sont insuffisants (biomasses abandonnées au champ) et lorsque le troupeau est de petite taille. Ainsi, autant par manque de qualité que de quantité, les besoins de l'exploitation en fumure organique sont rarement couverts. Seuls les éleveurs qui ont de forts ratios cheptel/ha couvrent leurs besoins en fumure organique avec la technique du parage direct. Chez les autres, donc dans la grande majorité des cas, la fumure est déposée avec parcimonie avant la mise en culture, sur des portions de champs jugées infertiles par le producteur, à des doses souvent élevées (> 5 t de matière sèche/ha).

6 Conclusion

L'étude a montré que l'AAE concernait tous les groupes d'exploitations (agriculteurs, agro-éleveurs et éleveurs), avec des différences de pratiques selon les orientations économiques des exploitations vers l'agriculture ou vers l'élevage.

Elle a permis de mettre en évidence des trajectoires d'exploitation et des chemins d'intensification spécifiques aux trois groupes d'exploitations (agriculteurs, agro-éleveurs et éleveurs). Dans l'ensemble, les trajectoires d'exploitation montrent que chez les agriculteurs « moyens » et « grands » elles se caractérisent surtout par un accroissement de surface, chez les « grands » éleveurs par une augmentation du troupeau, chez les agro-éleveurs par une augmentation des deux, et enfin chez les « petits » agriculteurs et les « petits » éleveurs par une relative stagnation de la surface et du troupeau. Elles montrent aussi que les inégalités de départ se sont creusées entre les classes d'exploitation modestes (agriculteurs « petits » et « moyens » et « petits » éleveurs) et les classes d'exploitation plus aisées (« grands » agriculteurs, « grands » éleveurs et agro-éleveurs). Les trois chemins d'intensification liés à l'AAE caractérisés sont :

- une intensification à moindre coût et un soutien alimentaire à l'élevage chez les agriculteurs « petits » et « moyens » ;
- une AAE orientée sur la production de fumure organique en complément d'un recours important à la fumure minérale chez les « grands » agriculteurs et les agro-éleveurs ;
- une stratégie d'intensification passive fondée sur le parage des troupeaux et le pâturage des résidus au champ chez les éleveurs.

L'étude a aussi montré que les exploitations présentant un niveau d'AAE élevé (fort taux de rétention de carbone) étaient de plus grande dimension et présentaient globalement de meilleurs indicateurs de durabilité. Il semble bien exister une corrélation entre le niveau d'association mesuré par le stockage temporaire du C à l'échelle de l'exploitation et la durabilité des exploitations mesurée par des indicateurs technico-économiques (rendements, taux de mises bas, marges après remboursement des intrants, productivité du travail), environnementaux (stockage temporaire du C rapporté aux actifs et au cheptel, surface théorique nécessaire pour nourrir le troupeau) et de sécurité alimentaire (production de céréales par personne). Cette conclusion, basée sur un panel d'indicateurs restreint, mériterait d'être confirmée par des études plus approfondies des performances économiques et de la gestion du temps de travail à l'échelle des exploitations.

Références

- Bell LW, Moore AD. 2012. Integrated crop-livestock system in Australian agriculture: trends, drivers and implications. *Agric Syst* 111: 1–12, doi:10.1016/j.agsy.2012.04.003
- Blanchard M, Vayssieres J, Dugué P, Vall E. 2013. Local Technical Knowledge and Efficiency of Organic Fertilizer Production in South Mali: Diversity of Practices. *Agroecol Sust Food Syst*, doi:10.1080/21683565.2013.775687
- Blanchard M, Coulibaly K, Bognini S, Dugué P, Vall E. 2014. Diversité de la qualité des engrais organiques produits par les paysans d'Afrique de l'Ouest: quelles conséquences sur les recommandations de fumure ? *Biotechnol Agron Soc Environ* 18: 4.
- CTA. 1998. Mécanisation des travaux agricoles en Afrique subsaharienne : rapport d'étude. Spore 74. CTA, Wageningen, The Netherlands.
- Courtin F, Guengant JP. 2011. Un siècle de peuplement en Afrique de l'Ouest. *Nat Sci Soc* 19: 256–265, doi: 10.1051/nss/2011146
- Delma BJ, Bougouma-Yameogo V, Nacro HB, Vall E. 2016. Fragilité des projets d'élevage familiaux dans les exploitations de polyculture-élevage au Burkina Faso. *Cah Agric* 25(3): 35005, doi:10.1051/cagri/2016019
- Dinar A, Hassan R, Mendelsohn R, Benhin J, *et al.* 2008. Climate change and agriculture in Africa: impact assessment and adaptation strategies. Rome: FAO, Earthscan Climate.
- Dongmo AL, Djamen P, Vall E, Koussou MO, Coulibaly D, Lossouarn J. 2012. Du nomadisme à la sédentarisation : l'élevage d'Afrique de l'Ouest et du Centre en quête d'innovation et de durabilité. *Rev Ethnoecol* 1: 147–161.
- Dorin B. 2014. Dynamiques agricoles en Afrique subsaharienne : une perspective à 2050 des défis de la transformation structurelle. Montpellier: CIRAD. https://agritrop.cirad.fr/575141/1/document_575141.pdf
- Douchamps S, Van Wijk MT, Silvestri S, Moussa AS, Quiros C, Ndour NYB, *et al.* 2015. Linking agricultural adaptation strategies, food security and vulnerability: evidence from West Africa. *Regional Environ Change* 1–13, doi: 10.1007/s10113-015-0838-6
- Dugué P, Vall E, Lecomte P, Klein HD, Rollin D. 2004. Évolution des relations entre l'agriculture et l'élevage dans les savanes d'Afrique de l'Ouest et du Centre: un nouveau cadre d'analyse pour améliorer les modes d'intervention et favoriser les processus d'innovation. *OCL* 11 (4–5): 268–276.
- Havard M, Abakar O. 2002. Caractéristiques et performances des exploitations agricoles des terroirs de référence du PRASAC au Cameroun. Montpellier : CIRAD-TERA, 26 p. <http://agritrop.cirad.fr/510646/>
- Hendrickson JR, Hanson JD, Tanaka DL, Sassenrath GF. 2008. Principles of integrated agricultural systems: introduction to processes and definition. *Renewable Agric Food Syst* 23: 265–271, doi: 10.1017/S1742170507001718
- Herrero M, *et al.* 2010. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. *Science* 327: 822–825.
- IFPRI. 2014. Atlas of agriculture research and development. Washington: IFPRI.
- Jouve P. 2006. Transition agraire: la croissance démographique une opportunité ou une contrainte. *Afrique Contemporaine* 1 (217): 43–54.
- Koutou M, Sangaré M, Havard M, Toillier A, Sanogo L, Thombiano T, *et al.* 2016. Sources de revenus et besoins d'accompagnement des exploitations agricoles familiales en zone cotonnière ouest du Burkina Faso. *Biotechnol Agron Soc Environ* 20 (1): 42–56.
- Landaïs E. 1998. Agriculture durable : les fondements d'un nouveau contrat social ? Courrier de l'environnement de l'INRA, 33. <http://www7.inra.fr/dpenv/landac33.htm>
- Landaïs E, Lhoste P. 1990. L'association agriculture-élevage en Afrique intertropicale : un mythe techniciste confronté aux réalités de terrain. *Cah Sci Hum* 26 (1–2): 217–235.
- Milleville P, Serpantié G. 1994. Intensification et durabilité des systèmes agricoles en Afrique Soudano-Sahélienne. In: Actes du séminaire régional, *Promotion de systèmes agricoles durables dans les pays d'Afrique soudano-sahélienne*, 10–14 janvier 1994, Dakar, Sénégal. Wageningen, The Netherlands: CTA, 33–45. http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers09-03/43575.pdf

- Powell JM, Pearson RA, Hiernaux PH. 2004. Croplivestock interactions in the West African drylands. *Agron J* 96: 469–483, doi: [10.2134/agronj2004.0469](https://doi.org/10.2134/agronj2004.0469)
- Pretty J, Toulmin C, Williams S. 2011. Sustainable intensification in African agriculture. *Int J Agric Sust* 9(1): 5–24, doi: [10.3763/ijas.2010.0583](https://doi.org/10.3763/ijas.2010.0583)
- Rivière R. 1991. Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical. Paris : IEMVT, Collection Manuel et précis d'élevage.
- Rudel TK, Kwon OJ, Paul BK, Boval M, Rao IM, Burbano D, *et al.* 2016. Do smallholder, mixed crop-livestock livelihoods encourage sustainable agricultural practices? A meta-analysis. *Land* 5(6), doi:[10.3390/land5010006](https://doi.org/10.3390/land5010006)
- Rufino MC, Hengsdijk H, Verhagen A. 2009. Analysing integration and diversity in agro-ecosystems by using indicators of network analysis. *Nutr Cycl Agroecosyst* 84: 229–247.
- Ryschawy J, Joannon A, Gibon A. 2014. L'exploitation de polyculture-élevage : définitions et questions de recherche. Une revue. *Cah Agric* 23(6): 346–356, doi:[10.1684/agr.2014.0727](https://doi.org/10.1684/agr.2014.0727)
- Séré C, Steinfeld H, Groenewold J. 1996. World Livestock Production systems. Current status, issues and trend. *Anim Prod Health paper* 127.
- Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T, Castel V, Rosales M, de Hann C. 2006. Livestock's long shadow: Env. Issues, Options. Rome: FAO.
- Tirel JC. 1987. Valeur et limites des notions d'intensification dans l'analyse de l'évolution des systèmes de production. *C R Acad Agric Fr* 73 (8): 83–95.
- Vall E, Lhoste P, Abakar O, Dongmo AL. 2003. La traction animale dans le contexte en mutation de l'Afrique subsaharienne : enjeux de développement et de recherche. *Cah Agric* 12: 219–226.
- Vall E, Dugué P, Blanchard M. 2006. Le tissage des relations agriculture-élevage au fil du coton. *Cah Agric* 15 (1): 72–79.
- Vall E, Blanchard M, Diallo MA, Lecomte P. 2012. L'innovation par simplification expliquée par le principe de moindre quantité d'action de Maupertuis : cas de l'intégration agriculture-élevage en Afrique soudano-sahélienne. *Renc. Rech. Ruminants* 2012: 19. http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/Texte_4_innovation_E-Vall.pdf

Citation de l'article : Vall E, Marre-Cast L, Kamgang HJ. 2017. Chemins d'intensification et durabilité des exploitations de polyculture-élevage en Afrique subsaharienne : contribution de l'association agriculture-élevage. *Cah. Agric.* 26: 25006.